

Рассмотрены электромагнитные процессы в низкочастотном корректоре коэффициента мощности. Представлены результаты моделирования работы корректора с помощью пакета СИМПАТ.

УДК 621.314.632

В.Г. Ягуп, д.т.н., проф.,
М.А. Литвин, инженер,
Д.С. Луценко, магистрант
Харьковская национальная академия городского хозяйства, г. Харьков

Е.В. Ягуп, к.т.н.,
Е.Я. Ивакина, инженер
Харьковская государственная академия железнодорожного транспорта, г. Харьков

РЕЖИМЫ РАБОТЫ НИЗКОЧАСТОТНОГО КОРРЕКТОРА КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ

Последнее десятилетие характеризуется интенсивным интегрированием электронной бытовой техники в системы электроснабжения сетей низкого напряжения. Эти потребители уже составляют значительную долю в общих показателях потребления электроэнергии. Несмотря на относительно небольшие мощности таких потребителей, они могут оказывать существенное влияние на условия работы сетей. По существу указанные группы потребителей относятся к существенно нелинейным нагрузкам, из-за чего могут сильно искажаться формы потребляемых из сети токов. В сетях, питающих существенно нелинейные нагрузки, наблюдается возрастание уровней высших гармоник токов, а также уменьшение $\cos \varphi$, что в целом снижает коэффициент мощности, являющийся интегральным показателем качества потребления электроэнергии [1-3].

В связи с этим большое внимание уделяется разработке специальных устройств для коррекции коэффициента мощности [4], схема которого изображена на рис. 1.

Эта схема отличается простотой реализации и управления, высокой надежностью, поэтому она вполне может рассматриваться как возможный вариант для питания электрических систем коммунального потребления постоянного тока.

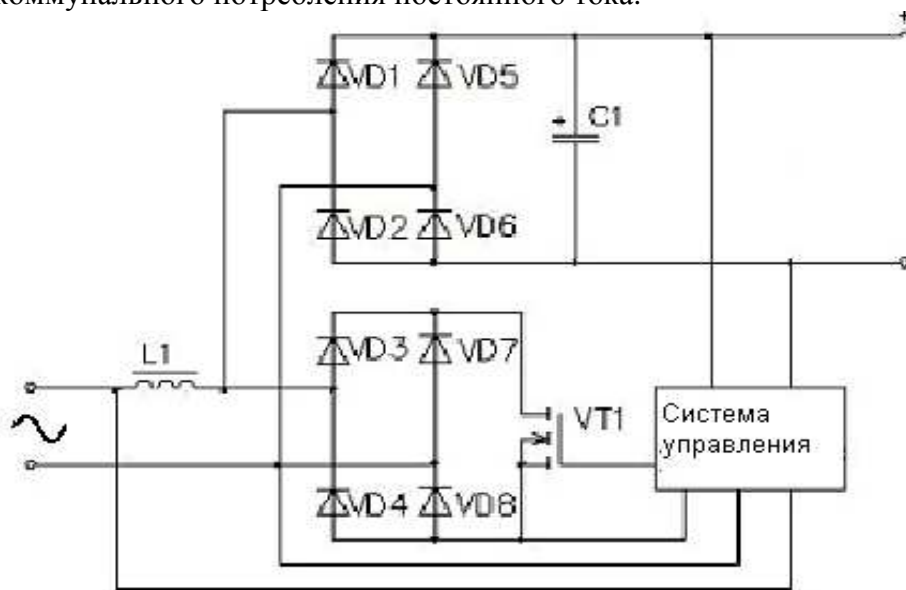


Рис.1. Принципиальная схема низкочастотного корректора коэффициента мощности

Здесь выпрямитель на диодах Д1, Д2, Д5, Д6 представляет собой основную силовую схему, питающую нагрузку R_n с емкостным фильтром Сф. Индуктивность L1 с биполярным управляемым ключом, собранном на диодах Д3, Д4, Д7, Д8, силовым транзистором VT1, образуют собственно схему корректора коэффициента мощности.

При отсутствии корректора выпрямитель, питающий резистивно-емкостную нагрузку, обуславливает импульсный характер потребления энергии от сети. Это связано с тем обстоятельством, что заряженная емкость фильтра играет роль противо э. д. с., из-за чего момент отпирания диодов выпрямителя задерживается, пока напряжение сети не превысит напряжение на фильтре. С другой стороны вследствие относительно быстрого дозаряда фильтрового конденсатора диоды заряжаются намного раньше, чем синусоиды питающего входного напряжения уменьшаются до нуля. Поэтому угол проводимости вентилей $\theta < 180$, что отличает режим работы выпрямителя на резистивно-емкостную нагрузку по сравнению с работой на активную нагрузку [1]. Осциллограммы показывают, что потребляемый выпрямителем ток имеет форму треугольных импульсов имеющих большую амплитуду и сдвинутых влево относительно максимума питающей синусоиды. Это и вызывает появление высших гармоник и уменьшение $\cos \varphi$.

При работе с корректором коэффициента мощности ключевой тиристор VT1 открывается с удвоенной частотой сети импульсами, поступающими в моменты пересечения синусоидой питающего напряжения оси времени. (Длительность Δt открытого состояния транзистора может регулироваться, и в зависимости от нее могут изменяться режимы работы выпрямителя с корректором коэффициента мощности и условия электропотребления). На время открытого состояния транзистора Т дроссель подключается параллельно сети, и ток в нем возрастает по нелинейному закону, поскольку входное напряжение синусоидально. Диоды выпрямителя оказываются запертыми напряжением на фильтровом конденсаторе, и выходная цепь фактически отсечена от сети.

Уравнения по методу переменных состояния [4] для этапа накачки индуктивности имеет вид:

$$\begin{cases} \frac{dV_c}{dt} = -\frac{1}{R_n C_\phi} V_c \\ \frac{di_L}{dt} = -\frac{1}{L_k} (U_c - r_k i_L) \end{cases} \quad (1) \quad (2)$$

После запираания транзистора Т диоды ключа запираются, и накопленный ток индуктивности i_L устремляется в диоды выпрямителя, отпирая соответствующую пару диодов по диагонали. Теперь энергия индуктивности отдается фильтровому конденсатору подзаряжая его. Подзаряд конденсатора заканчивается в момент спадания тока индуктивности к нулю, вследствие чего диоды выпрямителя закрываются, и фильтровый конденсатор оказывается опять отсеченным от сети и отдает нагрузке свою энергию, разряжаясь по экспоненциальному закону с постоянной $\tau = R_n C_\phi$.

Для этапа накачки конденсатора уравнения состояния приобретают вид

$$\begin{cases} \frac{dV_c}{dt} = -\frac{1}{C_\phi} (i_L - \frac{1}{R_n} V_c) \\ \frac{di_L}{dt} = -\frac{1}{L_k} (U_c - r_k i_L - V_c), \end{cases}$$

где $U_c = E_m \sin \omega t$.

Для решения задачи анализа процессов в схеме компенсатора коэффициента мощности была использована система имитационного моделирования тиристорных преобразователей СИМПАТ, основанная на применении сигнальных графов [4]. Информация о схеме задается в виде текстового файла, создаваемого в диалоговом режиме подпрограммой ввода.

Содержимое этого файла представлено на рис. 2.

Моделирование проводилось в пространстве нормированных параметров [4].

В качестве базовых величин выбраны:

а) амплитуда задающего напряжения питающей сети

$$E_m=100 \text{ B}$$

б) период сети

T=2 c

в) сопротивление нагрузки

$R_H=5 \text{ } O_M$

С учетом базовых величин параметры элементов корректора определяются следующими величинами: $L_1=0,2$ Гн, $R_1=0,001$ Ом; $C_1=0,5$ Ф.

НИЗКОЧАСТОТНЫЙ КОРРЕКТОР КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ									
	8	1	1	2	1	0	0	9	
E	1	1	4						
C	1	7	8			5.000000000000000E-0001			
R	1	1	2			1.000000000000000E-0003			
R	2	7	8			5.000000000000000E+0000			
L	1	2	3			2.000000000000000E-0001			
B	1	3	6						
B	2	5	4						
B	3	3	7						
B	4	8	4						
B	5	4	6						
B	6	5	3						
B	7	4	7						
B	8	8	3						
B	9	5	6						
	3								
	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	2.000000000000	512	1.000000000000000E-0004	0.0000000	20.0000000				
	0.00000	0.00000							
s	100.000000000000000	2.000000000000000	0.000000000000000						
	0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000				
	0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000				
	0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000				
	0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000				
	0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000				
	0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000				
	0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000				
	0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000				
	10	1.00000	0.00000	0.00100	0.20000				

Рис.2. Файл кодировки схемы низкочастотного корректора коэффициента мощности для моделирования в системе СИМПАТ

Силовой транзистор в соответствии с алгоритмом управления открывается с двойной частотой в моменты времени, когда питающее напряжение сети становится равным нулю. В зависимости от длительности пребывания транзистора в открытом состоянии α_T можно наблюдать три режима работы корректора.

Режим прерывистого тока компенсирующего дросселя. В этом режиме вследствие недостаточной длительности α_y компенсирующий дроссель приобретает малую энергию, которая при запирании транзистора незначительно повышает напряжение на выходном конденсаторе. Поэтому выходное напряжение не превышает питающее напряжение, и далее в полупериоде диодный мост выпрямителя Д1, Д2, Д5, Д6 отпирается под действием питающего напряжения, и через компенсирующий дроссель протекает второй импульс тока заряда конденсатора от сети. Первая гармоника сетевого тока, таким образом, несколько смещается во времени влево на небольшую величину. Этот сдвиг можно увеличить за счет увеличения площади первого токового импульса корректирующего дросселя. Для этого можно уменьшить величину индуктивности, благодаря чему увеличится скорость нарастания тока через дроссель при его накачке при включенном силовом транзисторе. При увеличении угла проводимости силового транзистора до $\alpha_T = 0,2$ ток корректирующего дросселя становится одноимпульсным, хотя качественно по-прежнему наблюдается отдача энергии дросселя и последующая подзарядка выходного конденсатора от сети. На рис.3 приведены диаграммы тока сети и выходного напряжения выпрямителя при $\alpha_T = 0,2$, приводящая к этому режиму.

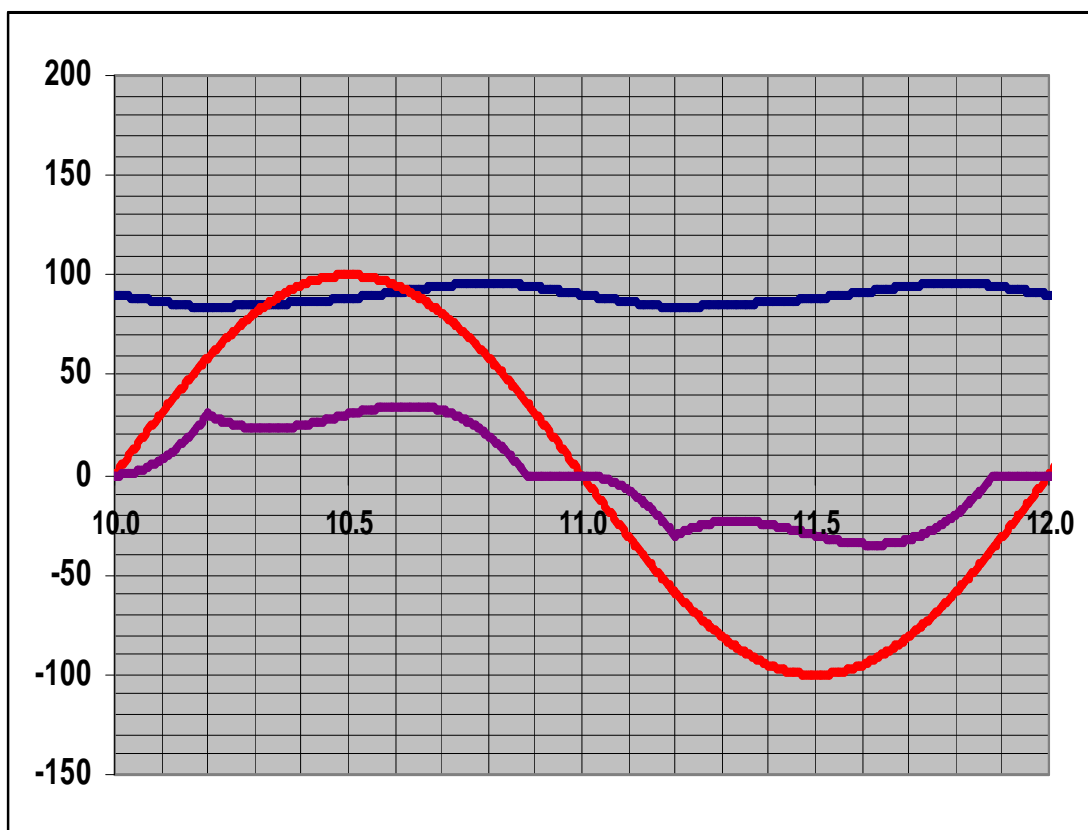


Рис.3. Временные диаграммы токов и напряжений корректора коэффициента мощности

Результаты моделирования в виде временных диаграмм наглядно показывают улучшение формы сетевого тока вследствие работы корректора. Синусоида отражает напряжение питающей сети, однополярное напряжения на выходном конденсаторе вследствие накачки близко к амплитудному значению питающего напряжения. Ток питающей сети имеет форму

несинусоидальных двухполярных импульсов, которые благодаря включению корректирующего дросселя улучшают сдвиг первой гармоники сетевого тока по отношению к напряжению сети.

Литература

1. Маевский О.А. Энергетические показатели вентильных преобразователей.- М.: Энергия, 1978.- 320 с.
 2. Мадьяр Л. Коэффициент мощности ($\cos \varphi$). - М-Л.: Госэнергоиздат, 1961.-376 с.
 3. Арриллага Дж., Брэдли Д., Боджер П. Гармоники в электрических системах.- М.: Энергоатомиздат, 1990.- 320 с.
- Ягуп В.Г. Автоматизированный расчет тиристорных схем. Харьков: Вища школа, 1986.-160 с.

РЕЖИМИ РОБОТИ НИЗЬКОЧАСТОТНОГО КОРЕКТОРА КОЕФІЦІЄНТА ПОТУЖНОСТІ

В.Г. Ягуп, М.А. Литвин, Д.С. Луценко, Е.В. Ягуп, Е.Я. Ивакина

Розглянуто електромагнітні процеси в низькочастотному коректорі коефіцієнта потужності. Представлені результати моделювання роботи коректора за допомогою пакета SIMPAT

LOW – FREQUENCY POWER FACTOR CORRECTOR’S OPERATIONS

V.G. Yagup, M.A. Litvin, D.S. Lutsenko, K.V. Yagup, K.Y. Ivakina

Electromagnetic processes in low frequency power factor corrector are considered. Results of simulation with program SIMPAT are presented.